干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

新疆塔城地区极端气温变化特征及其影响因子分析

高 婧[1,2]， 李胜楠[3]， 井立红[1,4]， 毛炜峄[5]， 井立军[2]

（1. 中亚大气科学研究中心，新疆 乌鲁木齐 830002；2. 沙湾县气象局，新疆 沙湾 832100；
3. 额敏县气象局，新疆 额敏 834600；4. 塔城地区气象局，新疆 塔城 834700；
5. 中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所，新疆 乌鲁木齐 830002）

摘 要：利用塔城地区7个国家气象观测站1961—2018年逐日气温资料，选用国际通用的10个极端气温指数，分析塔城地区极端气温的时空变化特征及其影响因子。结果表明：(1) 塔城地区极端气温指数暖化趋势明显，最低气温极低值以0.97 ℃·(10a)$^{-1}$的倾向率显著升高，最高气温极高值以0.09 ℃·(10a)$^{-1}$的倾向率不显著升高；冷昼、冷夜、霜冻、冰冻日数分别以1.75、5.24、4.07、1.84 d·(10a)$^{-1}$的趋势减少，暖昼、暖夜、夏季、热夜日数分别以1.79、5.89、2.18、2.08 d·(10a)$^{-1}$的趋势显著增加；选取的10个极端气温指数未来变化趋势均与过去58 a趋势相同，且持续性较强。(2) 冷指数与暖指数变幅表现出明显的不对称性，最低气温极低值变幅大于最高气温极高值，夜指数的变幅大于昼指数；大部分极端气温指数表现为地区北部的变暖幅度大于地区南部。(3) 最低气温极低值、冷昼、冷夜在20世纪80年代初期发生暖突变；暖昼、暖夜、夏季、热夜、霜冻在90年代中期发生暖突变。(4) 整体上来看，大气环流变化对冷指数的影响高于暖指数，其中冷昼、冷夜、霜冻、冰冻日数与冬季北半球、亚洲极涡面积指数正相关，与太平洋、北美、大西洋欧洲区极涡面积及欧亚、亚洲经向环流指数正相关，与欧亚、亚洲纬向环流、西藏高原指数负相关；暖昼、暖夜、夏季、热夜日数与夏季北半球、西太平洋副热带高压面积及西藏高原指数正相关。(5) 冷、暖指数受大西洋、热带太平洋地区海表温度变化的影响存在差异；夜指数比昼指数对海表温度的响应更明显。

关 键 词：极端气温事件；变化特征；环流指数；海表温度；新疆塔城

文章编号：

IPCC第五次评估报告指出，过去3个10 a的地表已连续偏暖于1850年以来的任何一个10 a，而北半球的增暖趋势更加明显[1]。在全球变暖的背景下，极端气候事件增多，强度增强，国内外学者对极端气温事件的变化进行了诸多研究，全球约有70%的陆地冷夜频次减少，暖夜频次增加[2]，热浪发生频率增加、时段增长[3-4]，大尺度气候过程[5]和海表温度[6]对极端温度的变化具有重要影响。中国极端气温变化总体上与全球变化趋势一致[7]，极端相对高温（低温）发生天数的增加（减少）对气温增暖起主要作用[8-9]；冬季极端气温指数的变化最为明显，夏季次之，春秋两季最弱[10]，大部分区域夏季延长，冬季缩短，极端高（低）温日数随之增多（减少）[11-12]。区域极端低温事件发生频次较高的纬度位于30°N和42°N[13]，但由于受区域自然环境状况、大气环流背景和人为活动影响的不同，不同区域的极端气温呈现出不一致的变化趋势和分布格局，一些学者对大尺度流域[14-15]、地理分区[16-17]、大型山脉[18-19]和以省[20-23]为研究区域的极端气温事件分析表明，大部分极端气温指数变化趋势与全球、全国基本一致，但也有一部分指数表现出特有的区域特征，说明极端气温事件的变化存在极大的不确定性。对新疆地区极端气温事件的研究表明，新疆平均气温突变后，日最高、最低气温均大幅上升，变暖幅度盆地大于山区[24]，北疆地区极端气温阈值呈现南高北低的空间分布格局[25]。塔城地区处于新疆最西北部，地

收稿日期：2020-05-08； **修订日期：**2020-10-19
基金项目：国家重点研发计划（2019YFC1510501，2018YFC1505602）；中亚大气科学研究基金项目（caas201717）资助
作者简介：高婧（1978-），女，高级工程师，硕士，从事预报预测及气候变化研究. E-mail: 1575035865@qq.com
通讯作者：毛炜峄（1969-），男，研究员，主要从事气候变化研究. E-mail: mao6991@vip.sina.com

貌多样，地形复杂，对气候变化的响应十分敏感。由于极端冷、暖事件本身的复杂性和受全球气候及区域气候变率的影响与互馈，对塔城地区极端气温事件的演变、区域性差异等方面的认识尚不足，很有必要对其时空变化特征及其影响因子做进一步深入的研究，以期对预测未来趋势变化提供一定的依据，提高对极端温度事件的应对能力，进而为防御和减轻气象灾害及其衍生灾害提供科学支撑。

1　资料与方法

1.1　数据来源

塔城地区（82°16′~87°21′E、43°25′~47°15′N）7个气象观测站1961—2018年逐日气温资料来源于新疆气象信息中心；1961—2018年逐月大气环流指数来源于国家气候中心；1961—2018年逐月大西洋年代际振荡指数（Atlantic multidecadal oscillation，AMO）、热带北大西洋海温指数（Tropical northern Atlantic SST index，TNA）、热带南大西洋海温指数（Tropical southern Atlantic SST index，TSA）、北热带大西洋海温指数（North tropical Atlantic SST index，NTA）、加勒比地区海温指数（Caribbean SST index，CAR）和热带太平洋地区（Tropical Pacific region，Niño区）海表温度指数（Extreme eastern tropical Pacific SST，Niño1＋2；Eastern tropical Pacific SST，Niño3；Central tropical Pacific SST，Niño4；East central tropical Pacific SST，Niño3.4）来源于美国国家海洋和大气管理局（National Oceanic and Atmospheric Administration，NOAA）地球系统研究室。

1.2　研究方法

极端气温指数运用R-ClimDex软件对数据进行计算和质控；运用一元线性回归、滑动平均、M-K检测、MTT法[26]、R/S分析法[27]分析近58 a塔城地区极端气温指数的时空变化特征；采用Pearson相关法探讨地理位置、大气环流、海表温度与极端气温指数变化的关系，进一步揭示其关联性和影响机理。根据地理位置及气候特征将塔城地区划分为2个气候区，即地区北部（塔城、额敏、裕民、托里、和布克赛尔——简称和丰）和地区南部（乌苏、沙湾）。

2　结果与分析

2.1　极端气温指数的时间变化

目前国际上主要采用世界气象组织（WMO）气候变化检测和指标专家组（ETCCDI）确定的极端气候指数来研究极端气候事件的变化，本文选取其中10个极端气温指数（表1）。第1类是极值指数（根据气温极值确定，反映极端气温在极点的变化特征）；第2类是相对指数（根据百分位法确定相对阈值，反映极端气温在昼夜冷暖的变化特征）；第3类是绝对指数（根据观测数据确定，反映极端气温在季节的变化特征）。

2.1.1　气候倾向率　1961—2018年塔城地区年平均气温以0.40 ℃·(10a)$^{-1}$的速率显著增暖，1989年发生暖突变，并在1991年之后增暖趋势十分显著。在增暖的气候背景下，极端气温指数如何变化？由表2可知，极值指数TXx以0.09 ℃·(10a)$^{-1}$速率不显著升高、TNn以0.97 ℃·(10a)$^{-1}$速率极显著升高；相对指数

表1　极端气温指数定义

Tab. 1　Definition of extreme temperature indices

类型	名称	代码	单位	定义
极值指数	最高气温极高值	TXx	℃	每年T_{max}的最大值
	最低气温极低值	TNn	℃	每年T_{min}的最小值
相对指数	冷昼日数	TX10p	d	T_{max}＜1961—2018年的第10个百分位值的天数
	冷夜日数	TN10p	d	T_{min}＜1961—2018年的第10个百分位值的天数
	暖昼日数	TX90p	d	T_{max}＞1961—2018年的第90个百分位值的天数
	暖夜日数	TN90p	d	T_{min}＞1961—2018年的第90个百分位值的天数
绝对指数	霜冻日数	FD0	d	每年T_{min}＜0 ℃的天数
	冰冻日数	ID0	d	每年T_{max}＜0 ℃的天数
	夏季日数	SU25	d	每年T_{max}＞25 ℃的天数
	热夜日数	TR20	d	每年T_{min}＞20 ℃的天数

注：T_{max}表示日最高气温；T_{min}表示日最低气温。

表2 塔城地区极端气温指数的变化趋势

Tab. 2 Linear trends of extreme temperature indices in the Tacheng Prefecture

极端指数 变化趋势	1961— 1970年	1971— 1980年	1981— 1990年	1991— 2000年	2001— 2010年	2011— 2018年	塔城 地区	全球[28]	中国[29]	西北 地区[30]	新疆[31]	天山 北坡[18]
TXx/℃·(10a)$^{-1}$	−0.84	0.09	−0.08	1.08	0.09	0.42	0.09	0.11	–	0.17	–	0.02
TNn/℃·(10a)$^{-1}$	−5.86	2.05	−0.82	−1.75	0.74	7.80	0.97***	0.45	–	0.46	–	0.63**
TX10p/d·(10a)$^{-1}$	27.40	−11.18	−2.10	−3.00	0.25	−15.29	−1.75	−0.67*	−0.70*	−1.50	−2.60**	−1.07*
TN10p/d·(10a)$^{-1}$	23.93	−17.60	−6.76	−0.41	−2.37	−14.68	−5.24***	−1.09*	−1.44**	−4.80*	−6.57**	−3.23**
TX90p/d·(10a)$^{-1}$	−9.49	13.62	−8.51	24.23	3.23	12.33	1.79*	0.80*	1.00*	2.44*	3.59**	1.28*
TN90p/d·(10a)$^{-1}$	−6.32	15.19	0.36	30.99	3.71	6.09	5.89***	1.17	2.12**	4.52*	6.23**	2.95**
FD0/d·(10a)$^{-1}$	14.66	−12.47	2.94	−4.72	−1.97	0.68	−4.07***	−1.80*	−2.84**	–	−3.69**	−2.89**
ID0/d·(10a)$^{-1}$	23.11	−3.38	−6.85	1.96	7.07	−12.21	−1.84*	−1.23*	–	–	−1.61*	−1.63*
SU25/d·(10a)$^{-1}$	−17.90	11.58	1.27	24.39	0.48	−3.61	2.18**	0.47*	1.77**	–	2.14*	1.34*
TR20/d·(10a)$^{-1}$	−4.48	4.13	−1.16	13.81	3.46	2.94	2.08***	0.91*	1.44**	–	1.17**	2.05**

注:*、**、***分别表示通过0.05、0.01、0.001显著性水平检验;“–”表示未分析。

中除TX10p[−1.75 d·(10a)$^{-1}$]不显著减少外,TN10p以−5.24 d·(10a)$^{-1}$的速率显著减少,TX90p、TN90p分别以1.79 d·(10a)$^{-1}$、5.89 d·(10a)$^{-1}$的速率显著增加,且夜指数的变幅是昼指数的3倍左右;绝对指数FD0、ID0分别以−4.07 d·(10a)$^{-1}$、−1.84 d·(10a)$^{-1}$的速率显著减少,SU25、TR20分别以2.18 d·(10a)$^{-1}$、2.08 d·(10a)$^{-1}$的速率显著增加。

为了明确塔城地区极端气温变化与其他地区之间变化幅度的差异,对塔城地区与全球[28]、全国[29]、西北地区[30]、新疆[31]、天山北坡[18]不同尺度地区极端气温指数变率进行对比分析(表2),塔城地区极端气温变化趋势与上述区域变化趋势总体一致,但也表现出一定的差异性,塔城地区极端气温的暖化幅度高于全球、全国、西北地区(除TX90p)、天山北坡平均水平,尤其是夜指数(TNn、TN10p、TN90p、TR20)变化趋势的显著性水平均达到0.001,其变暖幅度明显高于其他区域,表明塔城地区是极端气温变化的敏感区域,也进一步印证了北疆西北部是新疆增温较快的区域之一[32]的结论。

2.1.2 年际、年代际变化 为消除地理位置和下垫面等因素对温度产生的影响,将各站距平的算术平均值作为塔城地区极端气温指数的距平序列,进一步采用10 a滑动趋势法研究不同时间段的变化趋势(图1),近58 a来TXx在波动中表现出弱的升高趋势,年际最大振幅(4.6 ℃)出现在1992年和1993年,1993年(2015年)为TXx最低(高)年份;TNn呈现极显著的升高趋势,1960、1970年代处于偏冷时段(1969年为最冷年份,各站TNn极值、次极值基本都出现在这一年),1980年代至今为偏暖时段(2017年为最暖年),TNn年际最大振幅(10.4 ℃)出现在2017年和2018年。

相对指数TX10p和TN10p在1970年代中期之前呈增多趋势,在1974年达到顶峰,是多年均值的2倍左右,1980年代开始处于偏少期,1992年降至最低;TX90p和TN90p在1990年代中期之前处于偏少时段,最低值分别出现在1972年和1971年,1990年代期间为增多加速期,两者均在2008年达到最高值。

绝对指数FD0和ID0在1990年代之前为偏多时段,1990年代开始迅速减少,分别在2013年和2015年降至最低;SU25和TR20在1990年代中期之前为偏少时段,最低值分别出现在1992年和1993年,之后增多趋势显著,在2008年出现最高值。

2.1.3 持续性分析 R/S分析法最早由英国科学家赫斯特(H. E. Hurst)提出用以研究时间序列的分形理论,Hurst指数能够非常好地揭示时间序列的趋势性特征,而且能够依据Hurst指数的大小来判定趋势性特征的强度,当H=0.50时,无持续性,即现在不会影响将来;当$0.50 < H < 1.00$时,表示未来趋势与过去一致,具有持续性,H越接近于1,持续性越强;当$0.00 < H < 0.50$时,表示未来趋势与过去相反,具有反持续性,H越接近于0,反持续性越强。参照文献[27]将Hurst指数划分为5级,用Ⅰ~Ⅴ级来表示持续性由弱渐强(弱、较弱、较强、强、极强),而−Ⅰ~−Ⅴ级则表示反持续性由弱渐强。表3显示,塔城地区10个极端气温指数的Hurst值介于0.65~0.91,均

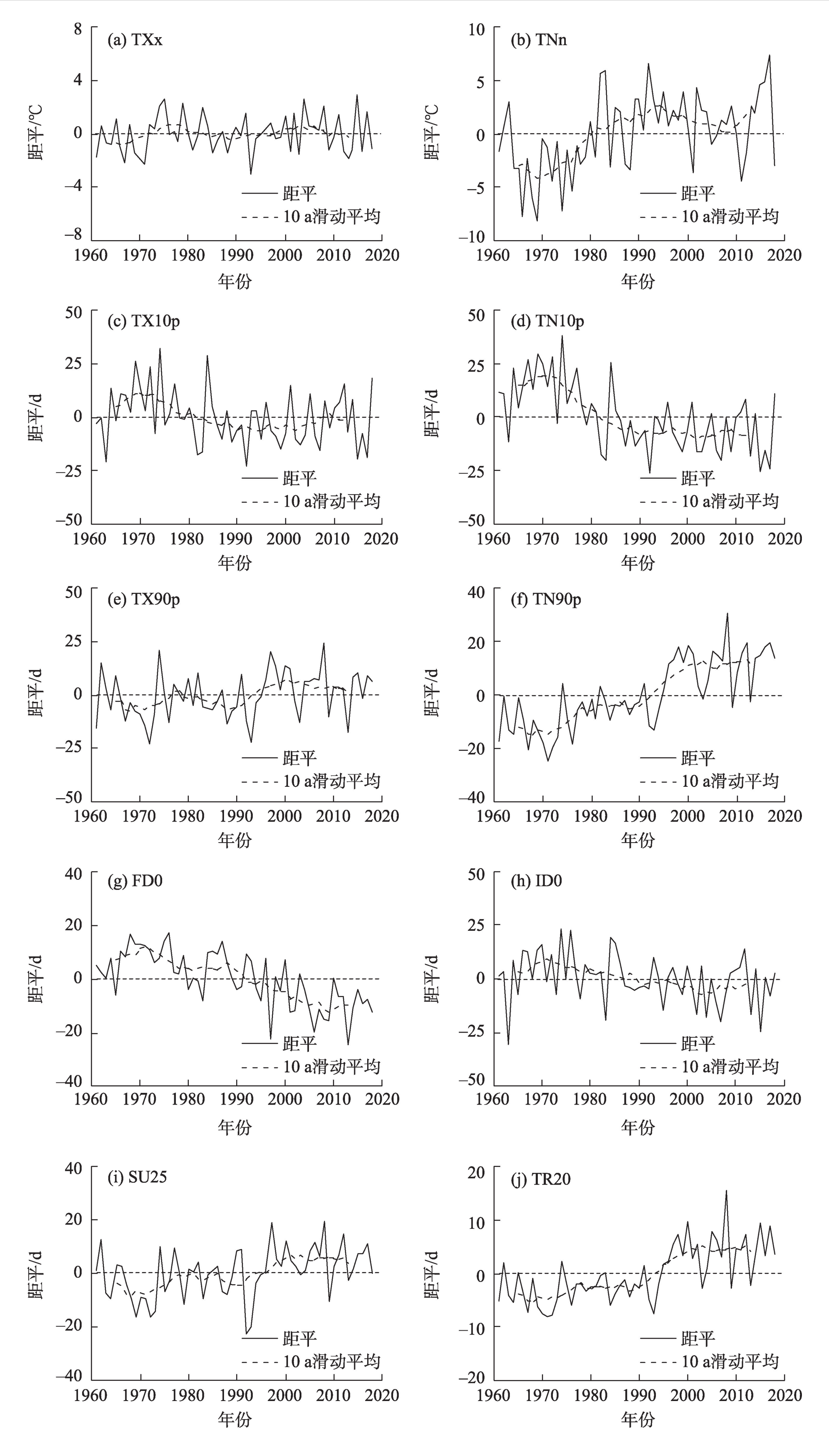


图1　1961—2018年塔城地区极端气温指数变化曲线

Fig. 1　Change curves of extreme temperature indices in Tacheng Prefecture

表3 塔城地区极端气温指数持续性分析

Tab. 3 Persistence analysis of extreme temperature indices in Tacheng Prefecture

冷指数	过去趋势	Hurst值	未来趋势	持续强度	暖指数	过去趋势	Hurst值	未来趋势	持续强度
TNn	+	0.84	+	强	TXx	+	0.65	+	较弱
TX10p	–	0.73	–	较强	TX90p	+	0.66	+	较强
TN10p	–	**0.90**	–	极强	TN90p	+	**0.91**	+	极强
FD0	–	0.82	–	强	SU25	+	0.72	+	较强
ID0	–	0.72	–	较强	TR20	+	**0.88**	+	极强

注:“+”表示增多或升高趋势,“–”表示减少或降低趋势;黑体表示持续性达到极强等级。

具有持续性。除TXx表现为较弱持续性外(Ⅱ级),其余指数持续性在Ⅲ~Ⅴ级之间,其中夜指数TN10p、TN90p、TR20的持续性达到极强等级。前文分析表明,塔城地区极端气温指数总体呈现暖化趋势。R/S分析显示,塔城地区极端气温指数未来变化趋势将与过去58 a相一致,暖化趋势将延续,这与甘肃河东地区极端气温未来变化趋势[33]相一致。

2.1.4 突变分析 对选取的10个极端气温指数进行突变分析(表4、图2),90%的指数发生了突变,其中冷指数TNn、TX10p、TN10p突变发生在1980年代初期,早于年平均气温突变时间(1989年),早于慈晖等[24]提出的新疆冷指数在1980年代中后期突变的时间;暖指数TX90p、TN90p、SU25、TR20突变出现在1990年代中期,早于新疆[24]暖指数突变时间

表4 塔城地区极端气温指数的突变分析

Tab. 4 Abrupt change of extreme air temperature indices in Tacheng Prefecture

极端指数	T_{mean}	TXx	TNn	TX10p	TN10p	TX90p	TN90p	FD0	ID0	SU25	TR20
突变年份	1989年	○	1980年	1980年	1981年	1995年	1993年	1994年	1987年	1995年	1994年
突变后增/减百分比	↑21.7%	○	↑13.5%	↓21.5%	↓33.0%	↑25.3%	↑72.9%	↓8.6%	↓8.1%	↑9.4%	↑67.8%
突变后变化趋势	↗	○	↗	↘	↘	↗	↗	↘	↘	↗	↗
显著升/降年份	1991年	○	1991年	1999年	1987年	2008年	1989年	1997年	2006年	2005年	1997年

注:↑x%或↓x%表示突变后均值较突变前均值增加或减少的百分比;↗或↘表示突变后变化趋势为显著上升或下降;○表示无突变。

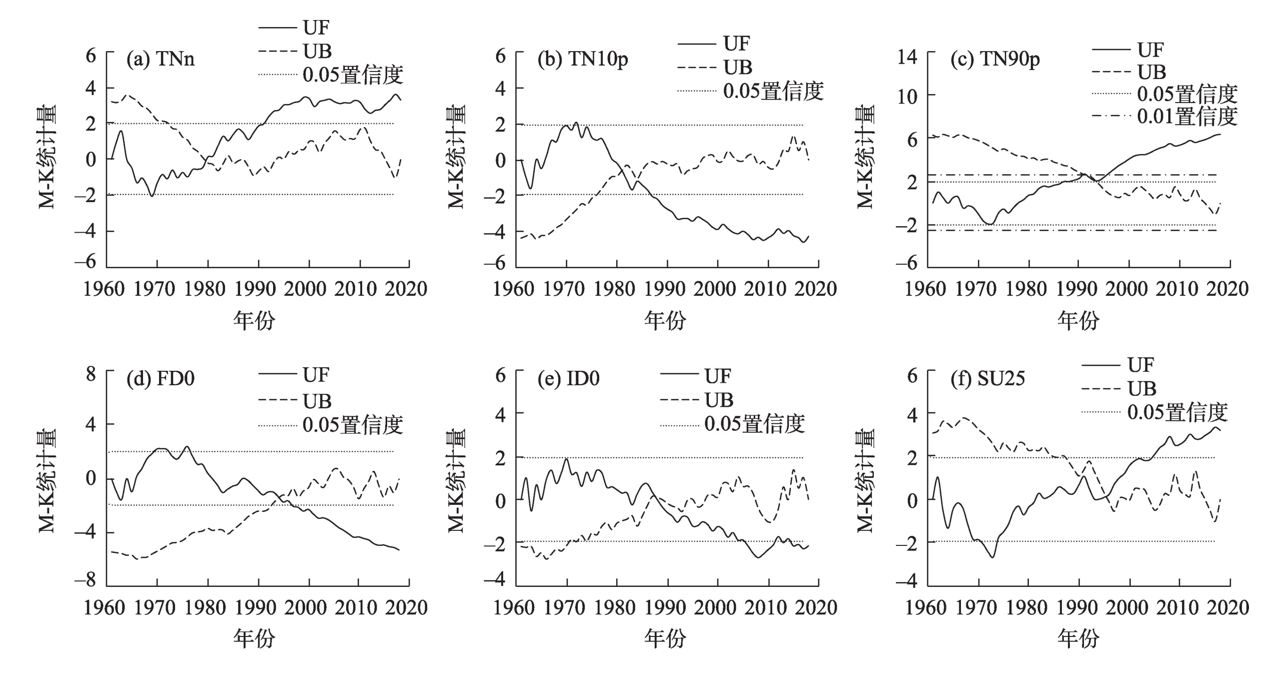


图2 塔城地区部分极端气温指数的M-K检验

Fig. 2 M-K test of some extreme air temperature indices in Tacheng Prefecture

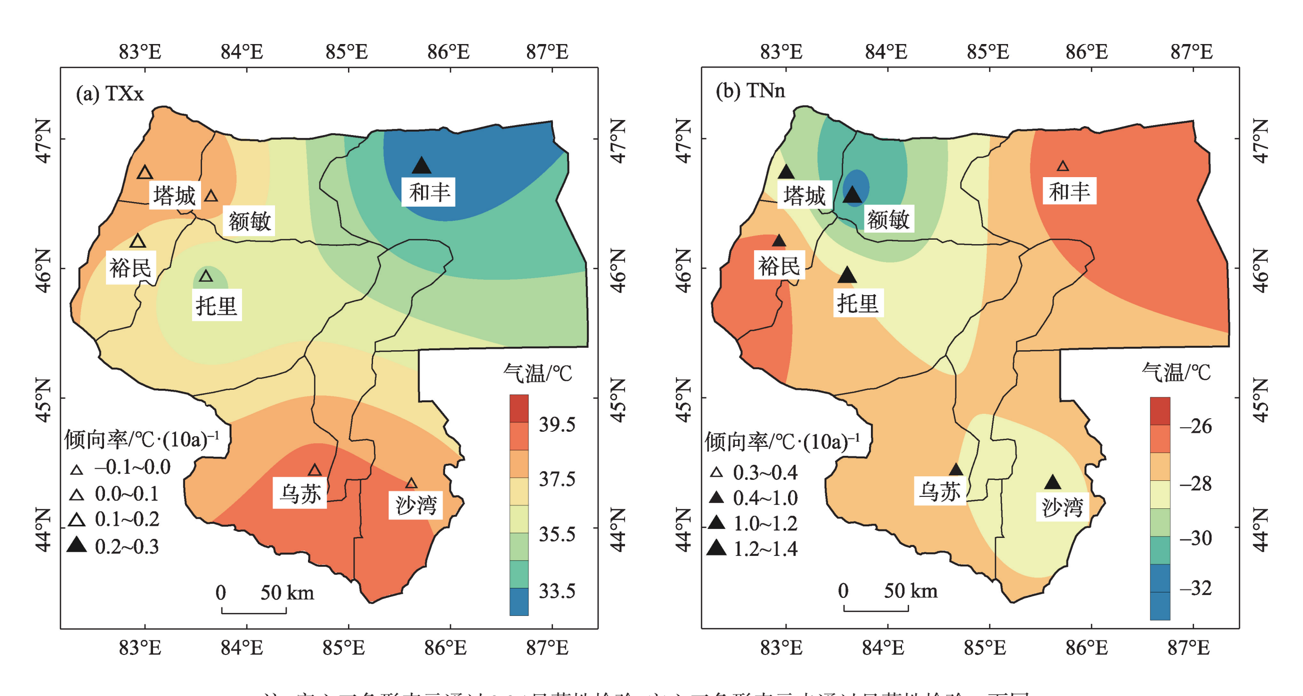
(1990年代末期)。FD0在1994年发生减少突变,在1997年之后趋势显著;ID0在1987年发生减少突变,2006年之后减少趋势显著;TXx在0.05置信区间内存在多个交点,但均没有通过滑动 t 检验。塔城地区极端气温指数突变的时间均发生在全球变暖的加速期1980年代和1990年代[34],可见塔城地区极端气温对全球气候变暖表现出十分显著的响应。从指数突变前后的均值变化来看,夜指数暖突变后的均值较突变前的均值增加或减少的比例明显高于昼指数,且出现显著上升(下降)趋势的时间亦早于昼指数,特别是TN90p和TR20在发生暖突变后均值较突变前分别增加72.9%和67.8%,可见TN90p和TR20对气候变化的响应最为敏感。

2.2 极端气温指数的空间分布及变化趋势

2.2.1 *极值指数* 图3表明塔城地区极端气温极值指数TXx空间分布特征表现为南高北低,地区南部多年平均为38.8 ℃,年平均最高值出现在乌苏(39.1 ℃),地区北部多年平均为36.4 ℃,最低值出现在和丰(32.5 ℃);塔城地区TNn多年平均为−28.2 ℃,最低值出现在额敏(−31.5 ℃),最高值出现在和丰(−26.2 ℃)。各站变化趋势表明,TXx以和丰升高趋势最为显著[0.25 ℃·(10a)$^{-1}$],沙湾表现为微弱下降趋势,其余站不显著小幅升高;TNn的变化趋势则相反,和丰不显著升高[0.35 ℃·(10a)$^{-1}$],其余站均显著升高,升幅在0.87~1.26 ℃·(10a)$^{-1}$,TNn升幅明显高于TXx。

2.2.2 *相对指数* 塔城地区极端气温相对指数变化趋势空间分布表明(图4),TX10p总体表现为不显著减少趋势,地区北部塔城、额敏、托里显著减少,递减率在2.53~3.18 d·(10a)$^{-1}$($P<0.01$),其余站减少趋势不显著;TN10p呈现一致性显著减少趋势,地区北部减幅较大,其中托里站减幅最大[8.42 d·(10a)$^{-1}$]($P<0.0001$);TX90p均呈增加趋势,变化率由北向南依次减小,地区北部塔城[3.20 d·(10a)$^{-1}$]($P<0.001$)、裕民、托里显著增多,其余为不显著增多;TN90p呈现显著增加趋势,除乌苏之外均达到0.0001极显著水平,额敏增幅最大[9.03 d·(10a)$^{-1}$],乌苏增幅最小[1.71 d·(10a)$^{-1}$]。由此可见TN10p(TN90p)的变化幅度明显大于TX10p(TX90p),可见昼指数与夜指数的变化具有不对称性,夜指数的暖化在气候增暖过程中表现更加突出。

2.2.3 *绝对指数* 塔城地区极端气温绝对指数的空间及变化趋势分布表明(图5),塔城地区FD0多年平均158.8 d,空间分布表现为由北向南逐渐减少,和丰FD0最多(年均185.4 d),地区北部塔城、裕民、额敏、托里相差不大(156.3~167.6 d),地区南部年均为142.2 d。从变化趋势看,各站均呈现显著减少趋势,托里减幅最大[5.75 d·(10a)$^{-1}$],乌苏减幅最小



注:实心三角形表示通过0.05显著性检验;空心三角形表示未通过显著性检验。下同。

图3　塔城地区极端气温极值指数变化趋势的空间分布

Fig. 3　Spatial distribution of the trend of extremum indices of extreme temperature in Tacheng Prefecture

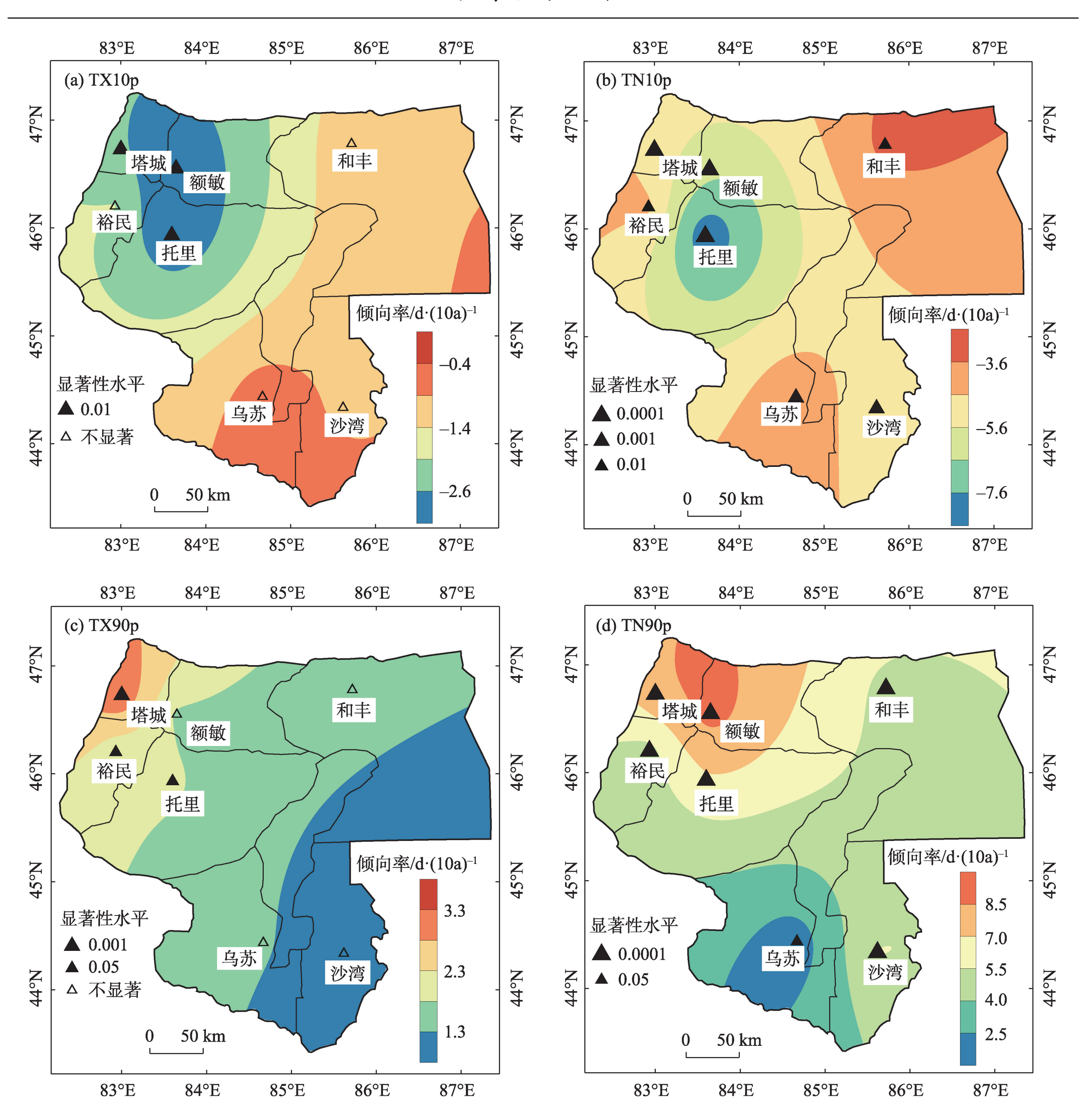


图4 塔城地区极端气温相对指数变化趋势的空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of the trend of relative indices of extreme temperature in Tacheng Prefecture

[2.17 d·(10a)$^{-1}$];塔城地区ID0多年平均为88.6 d,空间分布表现为由西北向东南逐渐递增,沙湾最多(102.3 d),塔城最少(73.8 d)。ID0变化幅度由西北向东南逐渐减小,塔城、裕民、额敏、托里显著减少,其余不显著减少,其中塔城减幅最大[3.08 d·(10a)$^{-1}$],和丰减幅最小[0.12 d·(10a)$^{-1}$];塔城地区SU25多年平均为101.0 d,空间分布表现为地区南部>地区北部,乌苏最多(129.9 d),和丰(50.0 d)最少。SU25变化趋势为一致显著增多,71.4%的站点显著性水平达到0.001,塔城增幅最大[2.74 d·(10a)$^{-1}$],乌苏增幅最小[1.81 d·(10a)$^{-1}$];塔城地区TR20多年平均为14.6 d,空间分布表现为南多北少,地区南部(40.6 d)是地区北部(4.2 d)的近10倍。TR20的变化呈一致显著增多趋势,沙湾增幅最大[5.73 d·(10a)$^{-1}$],和丰增幅最小[0.23 d·(10a)$^{-1}$]。

综上所述,塔城地区极端气温变化呈现一致的暖化趋势,其空间总体分布特征表现为地区北部变化趋势与幅度较地区南部更显著,与中国大陆地区纬度越高气温变化趋势越明显的结论[12]相一致。同时也表现出特有的区域性特征,如和丰站(海拔

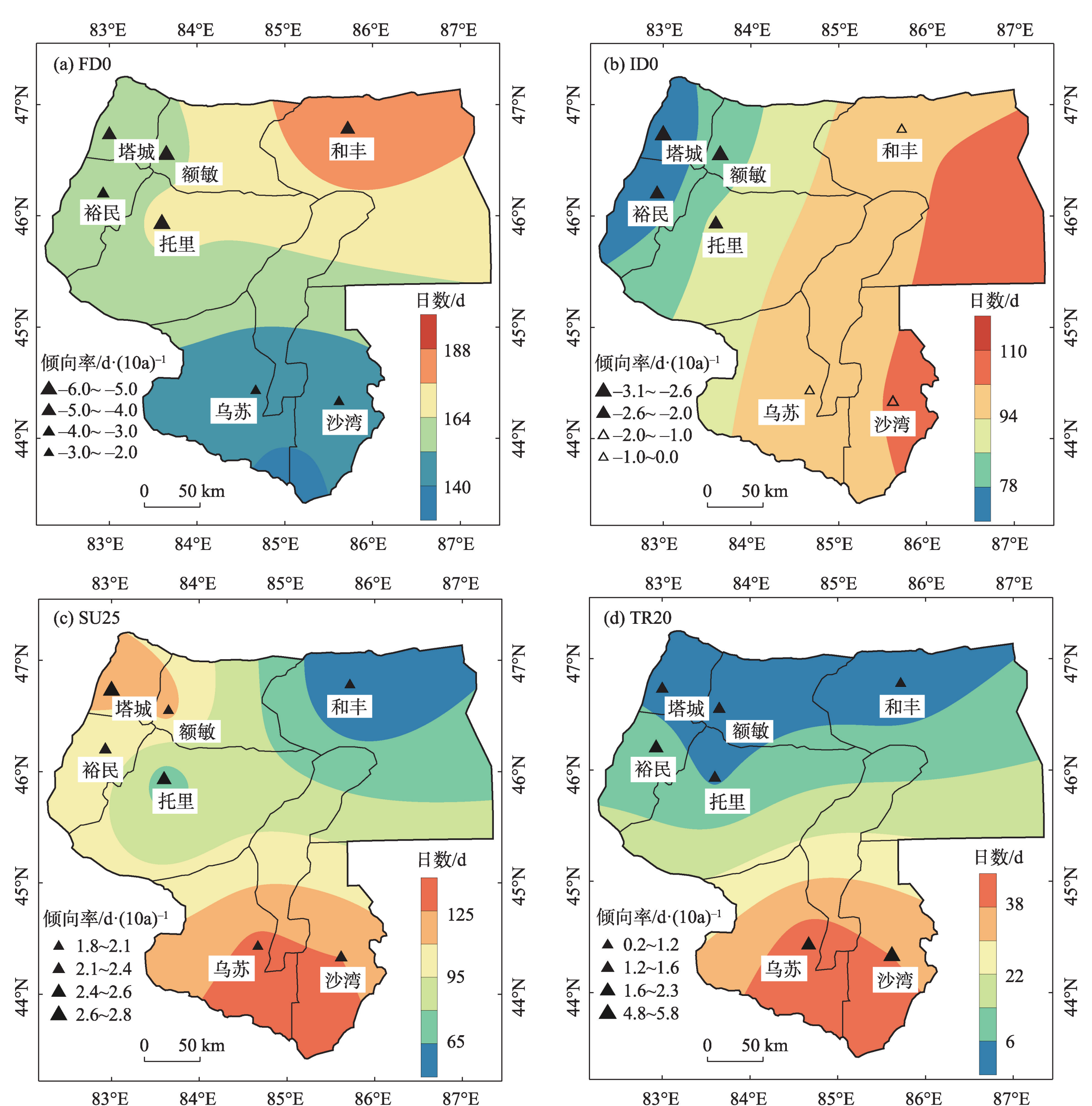


图5　塔城地区极端气温绝对指数日数及变化趋势的空间分布

Fig. 5　Spatial distribution days and trend of absolute indices of extreme temperature in Tacheng Prefecture

1322.1 m)TNn、TX10p、TN10p、ID0的变化趋势和幅度＜其他站点(绝大多数海拔在470~720 m之间)，与文献[18,33]提出的海拔高的区域较之海拔低的区域对全球变暖响应更明显的结论有所不同。这可能是因为和丰地处和布克谷地，萨吾尔山背风坡，冷指数变化表现出明显的局地性特征。

2.3　极端气温指数的影响因素

2.3.1　经纬度及海拔高度　为了方便分析，以下将TNn、TX10p、TN10p、FD0、ID0统称为冷指数，TXx、TX90p、TN90p、SU25、TR20统称为暖指数。为讨论不同地理位置对极端气温指数变化的影响，将极端气温指数气候倾向率与经度、纬度和海拔高度进行相关性分析(表5)，TX10p、TX90p、FD0、ID0表现为自东南向西北方向，指数变化的幅度逐渐增大。其中TX90p倾向率与经度呈显著负相关，随经度减小TX90p有增加趋势，即经度每减小1°，倾向率增加0.48 d·$(10a)^{-1}$；TR20变化率与纬度呈显著负相关，即纬度每减小1°，增幅增加1.29 d·$(10a)^{-1}$；ID0倾向率(负值)与经度呈显著正相关，即经度每减少1°，减幅增加0.95 d·$(10a)^{-1}$。海拔高度与极端指数相关不明

表5 极端气温指数变化趋势与地理位置的相关系数

Tab. 5 Correlation coefficients between the linear trends of extreme temperature indices and the geographical parameters

地理位置	TNn	TX10p	TN10p	FD0	ID0	TXx	TX90p	TN90p	SU25	TR20
经度	-0.50	0.74	0.38	0.43	0.89*	-0.08	-0.77*	-0.44	-0.29	0.30
纬度	-0.19	-0.61	-0.07	-0.76	-0.47	0.66	0.67	0.32	0.23	-0.78*
海拔高度	-0.52	-0.05	-0.05	-0.50	0.30	0.50	-0.06	-0.01	0.09	-0.53

注:*、**表示0.05水平(双侧)、0.01水平(双侧)上显著相关。下同。

显,不同于河东地区多数指数与海拔显著相关[33]的结论,这可能与塔城地区多样的地形地貌特征有关。

2.3.2 大气环流 全球大气能量的输送以水平方向上的显热和潜热输送为最主要,有平均经圈环流和大型涡旋2种主要形式[35]。极涡是高空冷性大型涡旋系统,是冷空气活动的最主要标志。近58 a北半球极涡面积显著减小,亚洲区极涡面积不显著减少。选取冬季(12—翌年2月)北半球、亚洲极涡面积指数与冷指数进行相关分析(表6),冬季北半球、亚洲极涡面积指数与TNn(TX10p、TN10p、ID0)呈显著负(正)相关;与TX10p、TN10p、ID0呈显著正相关。各月中除12月相关性不显著外,1、2月中85.0%的相关系数通过0.05显著性水平检验。

副热带高压是暖性高气压天气系统,对中、高纬度地区与低纬度地区之间热量、水汽、能量、角动量的输送与平衡起着重要作用。近58 a北半球、西太平洋副热带高压面积(强度)增大(增强)趋势达到极显著水平(面积与强度相关系数为0.99)。选取夏季(6—8月)北半球、西太平洋副热带高压面积指数与暖指数进行相关分析(表6),北半球、西太平洋副热带高压面积指数与暖指数均呈正相关,尤其对TN90p、TR20变化的影响最为显著,相关性基本都达到了0.01的显著性水平。

塔城地区极端气温指数与同期大气环流指数

表6 极端气温指数与环流指数相关分析

Tab. 6 Correlation coefficients between extreme temperature indices and atmospheric circulation index

环流指数		冷指数					环流指数		暖指数				
		TNn	TX10p	TN10p	FD0	ID0			TXx	TX90p	TN90p	SU25	TR20
北半球极涡面积	冬季	-0.40**	0.37**	0.45**	0.36**	0.32*	北半球副热带高压面积	夏季	0.07	0.25	0.69**	0.29*	0.57**
	12月	-0.16	0.15	0.20	0.17	0.10		6月	0.06	0.24	0.62**	0.26*	0.52**
	1月	-0.37**	0.44**	0.48**	0.29*	0.39**		7月	0.08	0.22	0.62**	0.25	0.55**
	2月	-0.37**	0.24	0.32*	0.33*	0.23		8月	0.04	0.26*	0.67**	0.33*	0.56**
亚洲极涡面积	冬季	-0.33*	0.47**	0.43**	0.18	0.35**	西太平洋副热带高压面积	夏季	0.05	0.16	0.50**	0.10	0.43**
	12月	0.00	0.10	0.09	0.16	0.06		6月	0.05	0.24	0.54**	0.18	0.48**
	1月	-0.34**	0.47**	0.38**	0.05	0.27*		7月	0.11	0.13	0.41**	0.03	0.35**
	2月	-0.33*	0.39**	0.41**	0.20	0.42**		8月	-0.03	0.04	0.38**	0.07	0.31*

表7 主要极端气温指数与大气环流指数的相关系数

Fig. 7 Correlation coefficients between extreme temperature indices and atmospheric circulation indices

环流指数	冷指数					暖指数				
	TNn	TX10p	TN10p	FD0	ID0	TXx	TX90p	TN90p	SU25	TR20
欧亚纬向环流	0.45**	-0.61**	-0.56**	-0.16	-0.48**	0.28*	0.13	0.14	0.04	0.18
欧亚经向环流	-0.32*	0.32*	0.28*	0.14	0.39**	0.02	0.00	-0.03	-0.03	-0.11
亚洲纬向环流	0.30*	-0.47**	-0.43**	-0.09	-0.41**	0.28*	0.11	0.05	-0.08	0.06
亚洲经向环流	-0.38**	0.41**	0.34**	0.13	0.44**	0.05	0.14	0.10	0.08	0.01
西藏高原Ⅰ	0.42**	-0.30*	-0.61**	-0.52**	-0.33*	0.03	0.17	0.59**	0.19	0.46**
西藏高原Ⅱ	0.45**	-0.36**	-0.65**	-0.56**	-0.38**	0.07	0.20	0.61**	0.23	0.48**
太平洋极涡面积	-0.33*	0.14	0.30*	0.49**	0.28*	0.08	-0.05	-0.34**	-0.27*	-0.28*
北美极涡面积	-0.29*	0.27*	0.46**	0.41**	0.32*	0.07	-0.04	-0.42**	-0.21	-0.34**
大西洋欧洲极涡面积	-0.35**	0.21	0.43**	0.41**	0.23	0.11	-0.12	-0.51**	-0.25	-0.48**

在年际变化趋势上的相关性表明(表7)，塔城地区冷指数与大气环流指数的相关程度明显高于暖指数，77.8%的冷指数相关系数通过0.05显著性水平检验。冷指数TNn与欧亚、亚洲纬向环流指数和西藏高原指数呈显著正相关，与欧亚、亚洲经向环流指数和太平洋、北美、大西洋欧洲极涡面积指数呈显著负相关；其余冷指数与欧亚、亚洲经向环流指数和太平洋、北美、大西洋欧洲极涡面积指数正相关，与欧亚、亚洲纬向环流、西藏高原指数负相关。即槽脊振幅大，冷空气活动范围大且位置偏南，西藏高原位势高度低(多高原槽活动)有利于冷指数的增加。暖指数TXx与欧亚、亚洲纬向环流指数显著正相关；暖指数TN90p、TR20与西藏高原指数显著正相关，与极涡(太平洋、北美、大西洋欧洲)面积指数显著负相关，其余暖指数与环流指数相关性不显著。

2.3.3　*海表温度(SST)*　热量的传输和交换主要通过全球大气环流和洋流来实现[35]，全球上层海洋正在发生显著的变暖，近表层海温上升速度最快[1]，20世纪80年代和90年代是海表温度增幅最显著的2个时期[36]，与全球地表温度上升最快的时间段相吻合，体现出海气之间明显的互馈和耦合作用。海表温度会直接引起海表感热量的变化，是影响气温的重要因素，选取大西洋区SST指数(AMO、NTA、TSA、TNA、CAR)和Niño区海表温度指数(Niño1+2、Niño3、Niño4、Niño3.4)与极端气温指数进行响应分析(表8)，冷指数中，TNn与大西洋区SST指数(AMO、NTA、TSA、TNA、CAR)呈正相关，其余冷指数表现为负相关关系(70.0%通过0.05显著性检验)；暖指数中，TXx与大西洋区SST指数相关性不明显，其余暖指数表现为正相关关系(80.0%通过0.05显著性检验)，可见大西洋区域SST升高，会加速塔城地区极端气温指数的暖化。El Niño事件的发生可导致热带太平洋地区大气对流活动加快，从而使大气环流及海气热量交换发生改变[37]。Niño区SST与冷指数TNn呈显著正相关，与其余冷指数呈负相关(62.5%通过0.05显著性检验)，可见Niño区暖相位时，不利于冷指数的增加；Niño区SST与暖指数呈弱的正相关，仅Niño1+2区SST与暖指数TXx、TN90和TR20呈显著正相关。

塔城地区极端气温冷、暖指数对大西洋、Niño区SST的响应有所差异，冷指数与大西洋SST及Niño区SST均有较好的响应；暖指数对大西洋区SST的变化比冷指数更加敏感，对Niño区SST响应较弱。相较而言，夜指数比昼指数对SST的响应程度更高，这可能是夜指数变化趋势比昼指数更加显著的原因之一。

2.3.4　*城市化影响*　城市化是多维的概念，是一种人类活动的集中体现，一些学者利用人口数据、经济数据、社会活动数据、卫星遥感反演资料、土地利用/土地覆被数据以及气象资料等，对站点进行筛选和类别划分，采用城市、郊区、乡村对比法来分析城市化对极端气温指数的影响[38-40]，绝大多数研究表明，各极端指数的变化总体表现为城市站较乡村站更显著，郊区站介于两者之间，且最低气温受城市化影响的程度较大，可见城市化对极端气温指数变化的影响是显而易见且不容忽视的。塔城地区地类结构以农用地占绝对优势，城市(镇)规模相对较小，7个国家气象站始建于20世纪50年代，均建于县城区，气温观测记录不可避免地受到城镇发展因素的影响。1950—1960年代城镇经济发展水平低

表8　极端气温指数对海表温度的响应分析

Tab. 8　Analysis of extreme temperature index response to SST

指数	冷指数					暖指数				
	TNn	TX10p	TN10p	FD0	ID0	TXx	TX90p	TN90p	SU25	TR20
AMO	0.30*	-0.28*	-0.46**	-0.61**	-0.38**	-0.03	0.32*	0.66**	0.44**	0.62**
NTA	0.25	-0.2	-0.41**	-0.52**	-0.33*	0.01	0.23	0.55**	0.28*	0.50**
TSA	0.11	-0.02	-0.24	-0.25	-0.20	0.04	0.15	0.41**	0.15	0.35**
TNA	0.15	-0.18	-0.33*	-0.47**	-0.31*	0.00	0.25	0.49**	0.27*	0.46**
CAR	0.41**	-0.32*	-0.50**	-0.60**	-0.42**	-0.02	0.27*	0.61**	0.35**	0.57**
Niño3	0.31*	-0.30*	-0.41**	-0.30*	-0.21	0.24	0.16	0.22	0.05	0.21
Niño4	0.29*	-0.22	-0.37**	-0.34**	-0.25	0.01	0.02	0.16	0.00	0.10
Niño1+2	0.31*	-0.28*	-0.39**	-0.28*	-0.15	0.28*	0.18	0.28*	0.06	0.29*
Niño3.4	0.28*	-0.27*	-0.35**	-0.25	-0.23	0.13	0.06	0.10	-0.02	0.08

下，1970年代开始城镇区域逐渐扩张，进入1980年代城市化进程加快，城区人口密度和经济活动能力不断增加，温室气体排放逐年递增，人为热释放增加[40]。同时城市发展导致土地利用类型(下垫面性质)发生变化[38]，有研究表明，2015年与1970年代相比，新疆城镇用地增幅245.13%，工业和交通用地增幅1120.94%，而塔城地区处于新疆城镇用地、工业和交通用地增幅最大的区域内[41]，由于下垫面辐射特性改变，致使地气感热通量增加，潜热通量减少，白天吸收(反射)的太阳辐射增多(减少)，夜晚发射的地面长波辐射增加，近地面气温升高，夜间气温上升尤其明显。可见城市化进程在塔城地区极端气温指数暖化过程中具有不可忽视的作用，但其影响程度还有待进一步研究。

3 结 论

(1) 近58 a塔城地区极端气温指数TXx不显著升高，TNn极显著升高；TX10p、TN10p、FD0、ID0表现为一致减少趋势，78.6%的站点通过0.05显著性水平检验；TX90p、TN90p、SU25、TR20呈现显著增多趋势，85.7%站点通过0.05显著性水平检验。塔城地区极端气温指数空间分布受纬度、海拔高度、地形地貌、大气环流和海表温度等诸多因素的影响。另外城市化进程加快、温室气体排放增加等在一定程度上加速了极端气温的暖化趋势，但其影响程度尚不明确，值得进行更深入的研究。

(2) 塔城地区昼、夜指数的变化具有明显的不对称性，TNn变暖幅度明显大于TXx；TN10p、TN90p增多幅度大于TX10p、TX90p，可见最低气温的暖化在气候变暖过程中表现更加突出。

(3) 塔城地区极端气温暖突变的时间出现在全球显著增暖期，大部分指数的突变时间早于新疆极端气温的突变时间。

(4) 近58 a欧亚、亚洲极涡面积减小，欧亚、亚洲经向环流减弱，大西洋、热带太平洋海表温度升高是塔城地区极端气温冷指数暖化的主要原因；北半球、西太平洋副热带高压面积(强度)扩大(增强)及大西洋海温升高对暖指数的升高(增多)具有重要影响。

参考文献(References)

[1] IPCC. Climate Change 2013: The physical science basis: Working group I contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change[M]. Cambridge and New York: Cambridge University Press, 2014: 1535.

[2] Alexander L V, Zhang X, Peterson T C, et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation [J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2006, 111 (D5): D006290, doi: 10.1029/2005JD006290.

[3] Easterling D R, Evans J L, Groisman P Y, et al. Observed variability and trends in extreme climate events: A brief review[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2000, 81(3): 417-426.

[4] Frich P L, Alexander L V, Della-Marta P, et al. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century[J]. Climate Research, 2002, 19(3): 193-212.

[5] Yan Z, Jones P D, Davies D, et al. Trends of extreme temperatures in Europe and China based on daily observations[J]. Climatic Change, 2002, 53(1): 355-392.

[6] Aguilar E, Peterson T C, Obando P R, et al. Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961—2003[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2005, 110(D23): D006119, doi: 10.1029/2005JD006119.

[7] Zhai P M, Pan X H. Trends in temperature extremes during 1951—1999 in China[J]. Geophysical Research Letters, 2003, 30 (17): 169-172.

[8] 龚志强, 王晓娟, 封国林, 等. 中国近58年温度极端事件的区域特征及其与气候突变的联系[J]. 物理学报, 2009, 58(6): 741-752. [Gong Zhiqiang, Wang Xiaojuan, Feng Guolin, et al. Regional characteristics of temperature changes in China during the past 58 years and its probable correlation with abrupt temperature change[J]. Acta Physica Sinica, 2009, 58(6): 741-752.]

[9] 王岱, 游庆龙, 江志红, 等. 中国极端气温季节变化对全球变暖减缓的响应分析[J]. 冰川冻土, 2016, 38(1): 36-46. [Wang Dai, You Qinglong, Jiang Zhihong, et al. Response of seasonal extreme temperatures in China to the global warming slow down[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2016, 38(1): 36-46.]

[10] 杨萍, 刘伟东, 王启光, 等. 近40年我国极端温度变化趋势和季节特征[J]. 应用气象学报, 2010, 21(1): 29-36. [Yang Ping, Liu Weidong, Wang Qiguang, et al. The climatic change trend and seasonal characteristics of temperature extremes in China for the latest 40 years[J]. Journal of Applied Meteorology Science, 2010, 21 (1): 29-36.]

[11] 赵俊虎, 封国林, 张世轩, 等. 近48年中国的季节变化与极端温度事件的联系[J]. 物理学报, 2011, 60(9): 842-850. [Zhao Junhu, Feng Guolin, Zhang Shixuan, et al. The relationship between seasonal variation and extreme temperature events in China in recent 48 years[J]. Acta Physica Sinica, 2011, 60(9): 842-850.]

[12] 周雅清, 任国玉. 中国大陆1956—2008年极端气温变化特征分析[J]. 气候与环境研究, 2010, 15(4): 405-417. [Zhou Yaqing, Ren Guoyu. Variation characteristics of extreme temperature indices in mainland China during 1956—2008[J]. Climatic and Envi-

ronmental Research, 2010, 15(4): 405-417.]

[13] 王晓娟, 龚志强, 任福民, 等. 1960—2009年中国冬季区域性极端低温事件的时空特征[J]. 气候变化研究进展, 2012, 8(1): 8-15. [Wang Xiaojuan, Gong Zhiqiang, Ren Fumin, et al. Temporal and spatial characteristics of winter extreme low events in China during 1960—2009[J]. Climate Change Research, 2012, 8(1): 8-15.]

[14] 刘青娥, 吴孝情, 陈晓宏, 等. 珠江流域1960—2012年极端气温的时空变化特征[J]. 自然资源学报, 2015, 30(8): 1356-1366. [Liu Qing'e, Wu Xiaoqing, Chen Xiaohong, et al. Temporal and spatial variation characteristics of extreme temperature in the Pearl River Basin during 1960—2012[J]. Journal of Natural Resources, 2015, 30(8): 1356-1366.]

[15] 孙玉燕, 孙鹏, 姚蕊, 等. 1961—2014年淮河流域极端气温时空特征及区域响应[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2019, 58(1): 1-11. [Sun Yuyan, Sun Peng, Yao Rui, et al. Variations and regional responses of extreme temperature events in the Huaihe River Basin in China during 1961—2014[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2019, 58(1): 1-11.]

[16] 汪宝龙, 张明军, 魏军林, 等. 西北地区近50年气温和降水极端事件的变化特征[J]. 自然资源学报, 2012, 27(10): 1720-1733. [Wang Baolong, Zhang Mingjun, Wei Junlin, et al. The change in extreme events of temperature and precipitation over northwest China in recent 50 years[J]. Journal of Natural Resources, 2012, 27(10): 1720-1733.]

[17] 赵安周, 刘宪锋, 朱秀芳, 等. 1965—2013年黄土高原地区极端气温趋势变化及空间差异[J]. 地理科学, 2016, 35(4): 639-652. [Zhao Anzhou, Liu Xianfeng, Zhu Xiufang, et al. Trend variations and spatial difference of extreme air temperature events in the Loess Plateau from 1965 to 2013[J]. Geosciences, 2016, 35(4): 639-652.]

[18] 丁之勇, 董义阳, 鲁瑞洁. 1960—2015年中国天山南、北坡与山区极端气温时空变化特征[J]. 地理科学, 2018, 38(8): 1379-1390. [Ding Zhiyong, Dong Yiyang, Lu Ruijie, et al. Spatio-temporal variability of temperature extremes in Tianshan Mountains area, northwest China, during 1960—2015[J]. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(8): 1379-1390.]

[19] 吕越敏, 李宗省, 冯起, 等. 近60年来祁连山极端气温变化研究[J]. 高原气象, 2019, 38(5): 959-970. [Lyu Yuemin, Li Zongxing, Feng Qi, et al. Analysis of extreme temperature changes in Qilian Mountains in the past 60 years[J]. Plateau Meteorology, 2019, 38(5): 959-970.]

[20] 赵国永, 韩艳, 刘明华, 等. 1951—2014年内蒙古自治区极端气温事件时空变化特征[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(12): 110-116. [Zhao Guoyong, Han Yan, Liu Minghua, et al. Characteristics of temporal and spatial variations of extreme temperature events in Inner Mongolia during 1951—2014[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2017, 31(12): 110-116.]

[21] 李双双, 杨赛霓. 1960—2014年北京极端气温事件变化特征[J]. 地理科学, 2015, 35(12): 1640-1647. [Li Shuangshuang, Yang Saini. Changes of extreme temperature events in Beijing during 1960—2014[J]. Scientia Geographica Sinica, 2015, 35(12): 1640-1647.]

[22] 蔡新玲, 吴素良, 贺皓, 等. 变暖背景下陕西极端气温变化分析[J]. 中国沙漠, 2012, 32(4): 1095-1102. [Cai Xinling, Wu Suliang, He Hao, et al. Change of extreme climate events in Shaanxi Province under global warming background[J]. Journal of Desert Research, 2012, 32(4): 1095-1102.]

[23] 曹祥会, 龙怀玉, 张继宗, 等. 河北省主要极端气候指数的时空变化特征[J]. 中国农业气象, 2015, 36(3): 245-253. [Cao Xianghui, Long Huaiyu, Zhang Jizong, et al. Temporal and spatial variation analysis of the main extreme climate index in Hebei Province[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2015, 36(3): 245-253.]

[24] 慈晖, 张强, 张江辉, 等. 1961—2010年新疆极端气温时空演变特征研究[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2015, 54(4): 129-138. [Ci Hui, Zhang Qiang, Zhang Jianghui, et al. Spatiotemporal variations of extreme temperature events over Xinjiang during 1961—2010[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2015, 54(4): 129-138.]

[25] 张延伟, 葛全胜, 姜逢清, 等. 北疆地区1961—2010年极端气温事件变化特征[J]. 地理科学, 2016, 36(2): 296-302. [Zhang Yanwei, Ge Quansheng, Jiang Fengqing, et al. Evolution characteristics of the extreme high and low temperature events in north Xinjiang during 1961—2010[J]. Scientia Gegraphica Sinica, 2016, 36(2): 296-302.]

[26] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 128-133. [Wei Fengying. Modern climatic statistical diagnosis and prediction technology[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2007: 128-133.]

[27] 甄英, 杨珊, 何静, 等. 基于M-K检验法与R/S法的宜宾市降水量分析[J]. 四川师范大学(自然科学版), 2017, 40(3): 392-397. [Zhen Ying, Yang Shan, He Jing, et al. Analysis of precipitation in Yibin City based on M-K test and R/S methods[J]. Journal of Sichuan Normal University (Natural Science), 2017, 40(3): 392-397.]

[28] Donat M G, Alexander L V, Yang H. Global land-based datasets for monitoring climatic extremes[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2013, 94(7): 997-1006.

[29] 张大任, 郑静, 范军亮, 等. 近60年中国不同气候区极端温度事件的时空变化特征[J]. 中国农业气象, 2019, 40(7): 422-434. [Zhang Daren, Zheng Jing, Fan Junliang, et al. Spatiotemporal variations of extreme temperature indices in different climatic zones of China over the past 60 years[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2019, 40(7): 422-434.]

[30] 赵锐锋, 苏丽, 祝稳. 1961—2012年西北干旱区极端温度事件季节性时空分析[J]. 中国农学通报, 2017, 33(12): 63-73. [Zhao Ruifeng, Su Li, Zhu Wen. Seasonal spatio-temporal analysis of extreme temperature events in arid region of northwest China during 1961—2012[J]. China Agronomy Bulletin, 2017, 33(12): 63-73.]

[31] Wang B L, Zhang M J, Wei J L, et al. Changes in extreme events

of temperature and precipitation over Xinjiang, northwest China, during 1960—2009[J]. Quaternary International, 2013, 298: 141-151.
[32] 张音, 古丽贤·吐尔逊拜, 苏里坦, 等. 近60 a新疆不同海拔气候变化的时空特征[J]. 干旱区地理, 2019, 42(4): 822-829. [Zhang Ying, Tuerxunbai Gulixian, Su Litan, et al. Spatial and temporal characteristics of climate change ant different altitudes in Xinjiang in the past 60 years[J]. Arid Land Geography, 2019, 42(4): 822-829.]
[33] 黄浩, 张勃, 黄涛, 等. 近30 a甘肃河东地区极端气温指数时空变化特征及趋势预测[J]. 干旱区地理, 2020, 43(2): 320-328. [Huang Bo, Zhang Bo, Huang Tao, et al. Quantifying and predicting spatial and temporal variations in extreme temperatures since 1990 in Gansu Province, China[J]. Arid Land Geography, 2020, 43(2): 320-328.]
[34] 谭红建, 蔡榕硕, 黄荣辉. 中国近海海表温度对气候变暖及暂缓的显著响应[J]. 气候变化研究进展, 2016, 12(6): 500-507. [Tan Hongjian, Cai Rongshuo, Huang Ronghui. Enhanced responses of sea surface temperature over offshore China to global warming and hiatus[J]. Climate Change Research, 2016, 12(6): 500-507.]
[35] 王建. 现代自然地理学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 97-101. [Wang Jian. Modern physical geography[M]. Beijing: Higher Education Press, 2002: 97-101.]
[36] Solomon S. Climate change 2007: The physical science basis: Working group contribution to the fourth assessment report of the IPCC[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
[37] 黄荣辉. 我国重大气候灾害的形成机理和预测理论研究[J]. 地球科学进展, 2006, 21(6): 564-575. [Huang Ronghui. Progresses in research on the formation mechanism and prediction theory of severe climatic disasters in China[J]. Advance in Earth Science, 2006, 21(6): 564-575.]
[38] 周雅清, 任国玉. 城市化对华北地区极端气温事件频率的影响[J]. 高原气象, 2014, 33(6): 1589-1598. [Zhou Yaqing, Ren Guoyu. Urbanization effect on long-term trends of extreme temperature events in north China[J]. Plateau Meteorology, 2014, 33(6): 1589-1598.]
[39] 吴蓉, 孙怡, 杨元建, 等. 城市化对安徽省极端气温事件的影响[J]. 气候变化研究进展, 2016, 12(6): 527-537. [Wu Rong, Sun Yi, Yang Yuanjian, et al. Effects of urbanization on extreme temperature events in Anhui Province[J]. Climate Change Research, 2016, 12(6): 527-537.]
[40] 焦毅蒙, 赵娜, 岳天祥, 等. 城市化对北京市极端气候的影响研究[J]. 地理研究, 2020, 39(2): 461-472. [Jiao Yimeng, Zhao Na, Yue Tianxiang, et al. The effect of urbanization on extreme climate events in Beijing[J]. Geographical Research, 2020, 39(2): 461-472.]
[41] 贺可, 吴世新, 杨怡, 等. 近40 a新疆土地利用及其绿洲动态变化[J]. 干旱区地理, 2018, 41(6): 1333-1340. [He Ke, Wu Shixin, Yang Yi, et al. Dynamic changes of land use and oasis in Xinjiang in the last 40 years[J]. Arid Land Geography, 2018, 41(6): 1333-1340.]

Variality characteristics of extreme temperature and its influencing factors in Tacheng Prefecture, Xinjiang

GAO Jing[1,2], LI Shengnan[3], JING Lihong[1,4], MAO Weiyi[5], JING Lijun[2]

(1. Center of Central Asia Atmospheric Sciences Research, Urumqi 830002, Xinjiang, China; 2. Shawan Meteorological Bureau, Shawan 832100, Xinjiang, China; 3. Emin Meteorological Bureau, Emin 834600, Xinjiang, China; 4. Tacheng Meteorological Bureau, Tacheng 834700, Xinjiang, China; 5. Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi 830002, Xinjiang, China)

Abstract: The Tacheng Prefecture is in the northwestern Xinjiang, China, and is sensitive to climate change. Based on the daily temperature data of seven national meteorological stations in the Tacheng Prefecture, sea surface temperature (SST) from the Physical Sciences Laboratory of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), and atmospheric circulation indices from the National Climate Center of China Meteorological Administration from 1961 to 2018, and using some mathematical statistics method, such as the least-squares method, the R/S analysis method, Mann-Kendall tests, and the correlation analysis method, the temporal and spatial distribution characteristics of extreme air temperature indices and its influencing factors were analyzed. The results show that the annual maximum daily maximum temperature indices increased at a rate of 0.09 ℃ per decade, which is insignificant, whereas the annual minimum of daily minimum temperature indices warmed at a rate of 0.97 ℃ per decade. The cool indices (cool days, cool nights, frosts days, and icing days) decreased at rates of 1.75 ℃, 5.24 ℃, 4.07 ℃, and 1.84 ℃ per decade, whereas warm indices (warm nights, summer days, and tropical nights) significantly increased at rates of 1.79 ℃, 5.89 ℃, 2.18 ℃, and 2.08 ℃ per decade. The future trends of 10 extreme temperature indices were the same as the past 58 years. The variation of cool and warm indices was asymmetrical. The magnitude of the coldest daily minimum temperature was greater than the warmest daily maximum temperature. The change range of night indices (cool nights, warm nights) was larger than that of day indices (cool days, warm days). The warming magnitude of the most extreme temperature indices was greater in the northern Tacheng Prefecture than the southern. The annual minimum daily minimum temperature (cool days and cool nights) changed suddenly in the early 1980s, and warm days, warm nights, summer nights, tropical nights, and frost days showed a sudden warming change in the mid-1990s. In summary, the influence of atmospheric circulation was higher for cool indices than warm indices. Cool days, cool nights, frost days, and icing days positively correlated with circulation indices, such as the Northern Hemisphere polar vortex area, Asia polar vortex area index in winter, Pacific polar vortex area, North America polar vortex area, Atlantic-Eurasian polar vortex area index, Eurasian and Asian meridional circulation index. However, these cool indices negatively correlated with Eurasian and Asian zonal circulation and the Tibetan Plateau index. Those warm indices (warm days, warm nights, summer days, and tropical nights) positively correlated with the Northern Hemisphere subtropical high area, Western Pacific subtropical high area indices in summer, and the Tibetan Plateau index. The cool indices negatively correlated with Atlantic Ocean SST and Niño Region (Tropical Pacific) SST, whereas warm indices positively correlated with Atlantic Ocean SST, more remarkable night indices responded to SST than day indices.

Key words: extreme temperature events; change characteristics; atmospheric circulation index; sea surface temperature; Tacheng Prefecture